

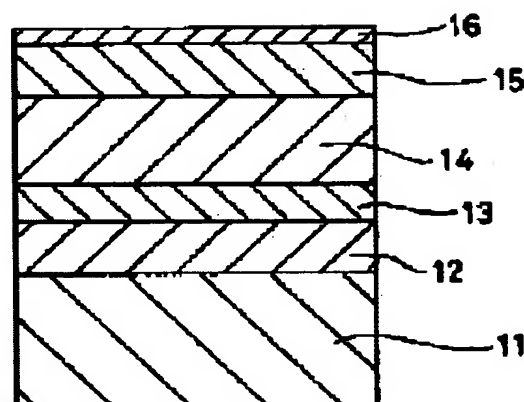
## PERPENDICULAR MAGNETIC RECORDING MEDIUM AND MAGNETIC MEMORY DEVICE

**Patent number:** JP11296833  
**Publication date:** 1999-10-29  
**Inventor:** FUTAMOTO MASAOKI; HIRAYAMA YOSHIYUKI; ITO KIYONARI; YOSHIDA KAZUYOSHI; HONDA YUKIO  
**Applicant:** HITACHI LTD  
**Classification:**  
- **International:** G11B5/66; G11B5/02  
- **European:**  
**Application number:** JP19980093334 19980406  
**Priority number(s):**

### Abstract of JP11296833

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a perpendicular magnetic recording medium improved to be suitable for a high-density magnetic recording.

**SOLUTION:** A ground surface layer is formed of a two-layered structure composed of a first ground surface layer 12 consisting of a material having a hexagonal close-packed structure or amorphous structure and a second ground surface layer 13 consisting of material which has the hexagonal close-packed structure, has a preferential growth bearing at [0001] and can be matched and grown to the perpendicularly magnetized film to be formed thereon. The perpendicularly magnetized film consisting of a Co alloy polycrystalline film is formed of a two-layered structure consisting of the lower layer perpendicularly magnetized film 14 and the upper layer perpendicularly magnetized film 15. The upper layer perpendicularly magnetized film is made lower in the total addition element concn. of a nonmagnetic element than the lower layer perpendicularly magnetized film. In addition, the saturation magnetization ( $M_s$ ) and magnetic anisotropy energy ( $K_u$ ) are made larger. The total thickness of the perpendicularly magnetized films is made to be from 5 to 70 nm. The average grain size of the crystal grains measured on the surface side of the upper layer perpendicularly magnetized film is specified to be from 5 to 15 nm.



Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-296833

(43)公開日 平成11年(1999)10月29日

(51)Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

FI

G 1 1 B 5/66  
5/02G 1 1 B 5/66  
5/02

B

審査請求 有 請求項の数9 OL (全10頁)

(21)出願番号 特願平10-93334

(22)出願日 平成10年(1998)4月6日

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 二本 正昭

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 平山 義幸

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 伊藤 研也

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74)代理人 弁理士 平木 祐輔

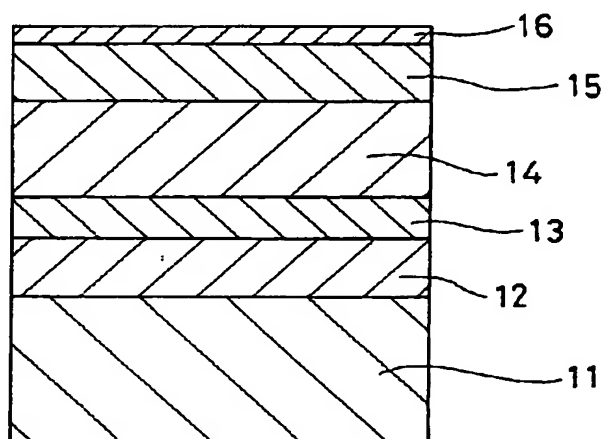
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 垂直磁気記録媒体及び磁気記憶装置

(57)【要約】

【課題】 高密度磁気記録に適するように改良した垂直磁気記録媒体を提供する。

【解決手段】 下地層を六方稠密構造もしくは非晶質構造を持つ材料からなり基板と接する第1下地層12と、六方稠密構造を持ち優先成長方位が〔0001〕であってその上に形成される垂直磁化膜と整合成長し得る材料からなる第2下地層13の2層構造とし、Co合金多結晶膜からなる垂直磁化膜を下層垂直磁化膜14と上層垂直磁化膜15との2層構造とする。上層垂直磁化膜は下層垂直磁化膜より非磁性元素の総添加元素濃度を低く、かつ飽和磁化(Ms)及び磁気異方性エネルギー(Ku)を大きくする。垂直磁化膜の総厚は5nm以上70nm以下とし、上層垂直磁化膜の表面側で測定した結晶粒の平均粒径を5nm以上15nm以下とする。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 非磁性基板上に下地層を介して形成した垂直磁化膜を備える垂直磁気記録媒体において、前記下地層は、六方稠密構造もしくは非晶質構造を持つ材料からなり前記基板と接する第1下地層と、六方稠密構造を持ち優先成長方位が〔0001〕であってその上に形成される垂直磁化膜と整合成長し得る材料からなる第2下地層とからなり、

前記垂直磁化膜は前記第2下地層に接する下層垂直磁化膜と上層垂直磁化膜とを含み、前記下層及び上層の垂直磁化膜はC<sub>o</sub>合金多結晶膜であって、前記上層垂直磁化膜は前記下層垂直磁化膜より非磁性元素の総添加元素濃度が低く、かつ飽和磁化(M<sub>s</sub>)及び磁気異方性エネルギー(K<sub>u</sub>)が大きく、前記第2下地層から前記上層垂直磁化膜まで連続的に整合成長が実現されており、前記垂直磁化膜の総厚が5nm以上70nm以下であり、前記上層垂直磁化膜の表面側で測定した結晶粒の平均粒径が5nm以上15nm以下であることを特徴とする垂直磁気記録媒体。

【請求項2】 請求項1記載の垂直磁気記録媒体において、前記下層垂直磁化膜と上層垂直磁化膜の間に六方稠密構造を持つ非磁性もしくはM<sub>s</sub><50emu/ccの中間層が設けられており、前記第2下地層から前記上層垂直磁化膜まで連続的に整合成長されていることを特徴とする垂直磁気記録媒体。

【請求項3】 請求項1又は2記載の垂直磁気記録媒体において、前記上層垂直磁化膜の上に厚さ0.1nmから5nmの金属膜が形成されており、前記金属膜はPt, Pd, Ir, Re, Ruもしくはこれらの元素を主成分とする合金、あるいはC<sub>o</sub>もしくはC<sub>o</sub>合金とPt, Pd, Ir, Re, Ruもしくはこれらの元素を主成分とする合金との積層膜、あるいは希土類元素を含む非晶質磁性材料膜であることを特徴とする垂直磁気記録媒体。

【請求項4】 請求項1、2又は3記載の垂直磁気記録媒体において、前記下層垂直磁化膜はその結晶粒界に25at%以上の非磁性元素の偏析層を持つ多結晶膜であることを特徴とする垂直磁気記録媒体。

【請求項5】 請求項1～4のいずれか1項記載の垂直磁気記録媒体において、前記下層垂直磁化膜の磁気異方性エネルギーが $1 \times 10^6 \text{ erg/cc}$ 以上 $2.5 \times 10^6 \text{ erg/cc}$ 以下、上層垂直磁化膜の磁気異方性エネルギーが $2.5 \times 10^6 \text{ erg/cc}$ 以上 $5 \times 10^6 \text{ erg/cc}$ 以下であることを特徴とする垂直磁気記録媒体。

【請求項6】 請求項1～5のいずれか1項記載の垂直磁気記録媒体において、前記第2下地層と前記下層垂直磁化膜の格子定数の差が5%以下であることを特徴とする垂直磁気記録媒体。

【請求項7】 請求項1～6のいずれか1項記載の垂直

2

磁気記録媒体において、前記下層垂直磁化膜の厚さが前記上層垂直磁化膜の厚さの2倍以上であることを特徴とする垂直磁気記録媒体。

【請求項8】 磁気記録媒体と、前記磁気記録媒体を駆動する磁気記録媒体駆動手段と、記録部と再生部とを備える磁気ヘッドと、前記磁気ヘッドを駆動する磁気ヘッド駆動手段と、前記磁気ヘッドの記録再生信号処理手段とを含む磁気記憶装置において、前記磁気記録媒体として請求項1～7のいずれか1項記載の垂直磁気記録媒体を用い、前記磁気ヘッドの再生部として磁気抵抗効果素子もしくは巨大磁気抵抗効果素子を用い、面記録密度 $10 \text{ Gb/in}^2$ 以上で磁気記録再生を行なうことを特徴とする磁気記憶装置。

【請求項9】 磁気記録媒体と、前記磁気記録媒体を駆動する磁気記録媒体駆動手段と、記録部と再生部とを備える磁気ヘッドと、前記磁気ヘッドを駆動する磁気ヘッド駆動手段と、前記磁気ヘッドの記録再生信号処理手段とを含む磁気記憶装置において、前記磁気記録媒体として請求項1～7のいずれか1項記載の垂直磁気記録媒体を用い、前記磁気ヘッドの再生部として磁気トンネル効果を用いた素子を用い、面記録密度 $30 \text{ Gb/in}^2$ 以上で磁気記録再生を行なうことを特徴とする磁気記憶装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、高密度磁気記録に適する垂直磁化膜を有する垂直磁気記録媒体及びこれを用いた磁気記憶装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 現在実用化されている磁気ディスク装置は、面内磁気記録方式を採用している。面内磁気記録方式においては、ディスク基板面と平行な方向に磁化し易い面内磁気記録媒体に基板と平行な面内磁区を高密度に形成することが技術課題となっている。この面内磁気記録媒体の記録密度を伸ばす方式として、面内方向に磁化容易軸を持つ記録媒体表面に、極薄の軟磁性膜を形成したキーパッドメディアを用いる方法が提案されている。この技術は例えば、41st Annual Conference on Magnetism & Magnetic Materials (November 12-15, 1996)で発行されたアブストラクト集の116ページ(論文番号DQ-13)及び133ページ(論文番号EB-12)などに掲載されている。このような媒体構造を採用することにより、自己記録再生方式の薄膜ヘッドを用いて、磁気記録の面記録密度を $1 \text{ Gb/in}^2$ 以上に向上できることが述べられているが、面内記録方式の場合は、このような技術を用いても本質的に互いに隣接する記録ビットの磁化が互いに向き合っているため、境界に幅をもった磁化遷移領域が形成され、 $10 \text{ Gb/in}^2$ 以上の面記録密度を実現するためには技術的な困難が予想される。

3

【0003】一方、垂直磁気記録方式は薄膜媒体の膜面に垂直に磁化を形成する方式であり、記録原理や媒体ノイズの発現機構が従来の面内磁気記録媒体の場合とは異なるが、隣接する磁化が互いに向き合わないため、本質的に高密度磁気記録に適した方式として注目され、垂直磁気記録に適した媒体の構造などが提案されている。Co合金材料からなる垂直磁化膜の垂直配向性を改善するために、垂直磁化膜と基板との間に非磁性材料下地を設ける方法が検討されている。例えば、特開昭58-77025号公報、特開昭58-141435号公報にはCo-Cr磁性膜の下地層としてTi膜を形成する方法が、特開昭60-214417号公報には下地層としてGe、Si材料を用いる方法が、特開昭60-064413号公報にはCoO、NiO等の酸化物下地層材料が開示されている。また、単磁極型の記録ヘッドと組み合わせて用いられる垂直磁気記録媒体として、基板と垂直磁化膜の間にパーマロイなどの軟磁性膜層を設けた媒体が検討されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】10Gb/in<sup>2</sup>以上の高密度磁気記録が可能な垂直磁気記録媒体には、線記録密度分解能が大きいことに加えて媒体ノイズが小さいことが必要とされる。今までの報告例によると、例えば第5回垂直磁気記録シンポジウム会議資料集(1996年10月23-25日)95~100頁の「単層垂直磁気ディスク媒体の高S/N化」と題する論文に記載されているように、垂直磁化膜の厚さを小さくする、垂直磁化膜と基板の間に非磁性のCoCr下地を導入する、あるいはCo合金磁性膜の添加元素としてTa等の非磁性元素を添加する、磁性結晶粒径を小さくすることが有効であることが知られている。このような対策を施すことで媒体ノイズをかなりの程度低減できるが、更にノイズを低減できれば磁気記録装置の記録密度をより容易に伸ばすことが可能となる。

【0005】本発明は、垂直磁気記録方式のこのような現状に鑑みてなされたもので、10Gb/in<sup>2</sup>以上の高記録密度を実現するための低ノイズ特性をもつ垂直磁気記録媒体、及びその媒体を用いた高密度磁気記憶装置を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】垂直磁気記録媒体の記録磁化状態を磁気力顕微鏡や走査型スピン電子検出型顕微鏡によって調べた結果、大部分のノイズは媒体面に存在する逆磁区や磁化のミクロ的な揺らぎが原因であることが判明した。ミクロな磁化の揺らぎとは、媒体表面の磁化の強さが0.2~10 $\mu$ m程度のミクロンレベルの距離で場所によって変動していることを指す。媒体ノイズを減らすためには、逆磁区を減らすとともに、媒体の表面に存在するミクロな磁化の揺らぎを減らさなければならない。

4

【0007】本発明者らの実験の結果、以下の方法によって前記目的を達成できることが明かになった。垂直磁化膜を一方向に垂直磁化すると媒体表面には強い反磁界が作用する。この反磁界の作用で、垂直磁化した方向とは逆の向きを持つ、いわゆる逆磁区が形成される。この逆磁区の形成を妨げるためには、磁気異方性エネルギーの大きい垂直磁化膜を採用する必要がある。磁気異方性エネルギーとして、 $2.5 \times 10^6 \text{ erg/cc}$ 以上あることが望ましい。実用的な媒体として扱いやすいCo合金材料を用いた垂直磁化膜の磁気異方性エネルギーの最大値は、 $5 \times 10^6 \text{ erg/cc}$ である。この値以上の磁気異方性エネルギーを持つCo合金系規則格子材料も存在するが、規則相を得るには500℃以上のプロセス温度が必要となるため、基板材料の選択範囲が狭まったり、あるいは磁性膜を構成する結晶粒が粗大化してノイズを低減するのが困難になる等の問題が生ずる。Co合金以外のPt/Co、Pd/Coなどの多層膜からなる垂直磁化膜、あるいはTbFeCoなどの希土類元素を含む非晶質構造を持つ垂直磁化膜は、磁気異方性エネルギーがいずれも $2.5 \times 10^6 \text{ erg/cc}$ 以上であるため、本課題を達成する材料系としては望ましいが、そのままでは面内方向の磁氣的相互作用が大きく、媒体ノイズが大きくなってしまいうため媒体ノイズを減らす特別な工夫が必要となる。

【0008】磁気記録の面密度を10Gb/in<sup>2</sup>以上とするためには、線記録密度として300kFCI以上が必要となる。この線記録密度に対応するビット長は83nmである。記録を担う磁気記録媒体の厚さとしては、リングヘッドの記録能力を考慮すると最短のビット長より小さいことが望ましく、垂直磁化膜の膜厚を70nm以下に設定する必要がある。膜厚が5nm以下になると、熱揺らぎのために記録磁化が不安定になるため、垂直磁化膜の適当な膜厚範囲は5nm以上70nm以下である。

【0009】ノイズの原因となる逆磁区の大きさは、垂直磁気記録媒体を構成する多結晶膜の粒径と結晶粒間の磁氣的相互作用の強さに依存する。逆磁区の大きさを300kFCIのビット長以下とするためには、結晶粒径の平均を15nm以下とすることが必要であることが判明した。しかし、結晶粒径が小さくなりすぎると記録媒体の保磁力が減少して記録媒体として適さなくなるため、粒径は5nm以上であることが望まれる。なお、本明細書で結晶粒径の平均とは、磁気記録媒体の表面で観察した結晶粒が占有する面積と等しい円の直径の平均値をいう。

【0010】磁気異方性エネルギーの高い垂直磁化膜を用いることにより、逆磁区の発生を抑えることができるので、逆磁区に起因する媒体ノイズの発生を防ぐことができるが、媒体ノイズの他の原因として、媒体表面に存在する磁化のミクロレベルでの揺らぎがある。この揺ら

5

ぎには、磁性膜の面内方向の磁氣的相互作用が大きい場合、長周期の磁化の揺らぎが生ずる。また、垂直磁化膜表面に磁氣的な不均質性が存在すると、短周期の磁化揺らぎが生じ、いずれも媒体ノイズの原因となることが判明した。このような長周期、短周期の磁化揺らぎを抑制するためには、垂直磁化膜を2層構造とし、上層側に磁気異方性エネルギー ( $K_u$ ) の高い垂直磁化膜を下層側に磁気異方性エネルギーが小さくてしかも結晶粒間の磁氣的分離が促進されている垂直磁化膜を採用すればよいことが分かった。上層側の垂直磁化膜は、 $2.5 \times 10^{10} \text{ erg/cc} < K_u < 5 \times 10^{10} \text{ erg/cc}$  とし、下層側の垂直磁化膜は、 $1 \times 10^{10} \text{ erg/cc} < K_u < 2.5 \times 10^{10} \text{ erg/cc}$  とするのが有効である。

【0011】ここで、下層側の垂直磁化膜はマイクロレベルの磁化の揺らぎピッチを記録に用いるビット長よりも微細化する役目を果たし、上層側の垂直磁化膜は前述のように逆磁区の形成を抑制する。両者の膜厚の比は下層側が厚いほうが膜全体から発生するノイズを抑えるためには望ましく、下層の厚さは上層の2倍以上とするのが好ましい。下層の厚さを上層の厚さの2倍未満にする<sup>20</sup>と、マイクロレベルの磁化揺らぎのピッチを記録に用いるビット長以下にする役目を十分果たさなくなるのであまり望ましくない。

【0012】下層垂直磁化膜としては、結晶粒径の平均が5nm以上15nm以下であること、結晶粒間の磁氣的結合を低減するために結晶粒界に25at%以上の非磁性元素が析出するかもしくは空隙が形成されていることが望ましい。Co合金に含まれる非磁性添加元素の総量を25at%以上にすると、その材料の飽和磁化が極端に低下し、添加元素の種類によっては非磁性化する。<sup>30</sup>このような弱磁性もしくは非磁性層が存在すると、磁性結晶粒間の磁氣的結合力を下げ、この結果、媒体ノイズが低下する望ましい効果が生ずる。また、磁気記録膜が強い垂直磁気異方性を持つためには、上層と下層の垂直磁化膜の結晶格子が連続であること、すなわち成長整合性が保たれていることが必要である。

【0013】また、媒体ノイズを下げるためには磁性結晶粒間の磁氣的結合力を下げることに加えて、垂直磁化膜の膜厚方向の結晶粒を磁氣的に分離もしくは結合力を下げることが有効である。このためには、上下2層の垂直磁化膜の間に非磁性もしくは飽和磁化が $50 \text{ emu/cc}$ 以下の弱磁性の中間層を導入することも有効である。中間層の厚さは0.1nmから5nmの範囲が適当である。中間層の厚さが0.1nm未満の場合、中間層導入による十分な効果が得られず、逆に5nmを超えると媒体全体の保磁力が低下したりするため望ましくない。中間層に用いる材料は、Pt, Pd, Ir, Re, Ruなどの単体金属及びこれらの元素を主成分とする合金、あるいはCoに25at%以上の前記元素あるいは非磁性元素を添加した材料などが適当である。<sup>50</sup>

6

【0014】また、垂直磁化膜の表面に形成される逆磁区は、熱活性過程で時間の経過とともに反磁界の影響で増大することがある。このような時間経過に伴って発生する逆磁区の形成を抑えるためには、垂直磁化膜の表面に厚さが0.1nmから5nm程度の薄い金属膜を形成するのが有効であることが、本発明者らの実験の結果明らかになった。金属膜としては、Pt, Pd, Ir, Re, Ruもしくはこれらの元素を主成分とする合金、あるいはCoもしくはCo合金と前述の元素もしくはそれらの元素を主成分とする合金の積層膜、あるいは希土類元素を含む非晶質磁性材料膜、もしくはパーマロイ、Fe-Si, Fe-Si-Al, Co-Nb-Zrなどの軟磁性膜、あるいはCo, Ni, Fe, Co-Ni, Co-Ni-Crなどの面内磁化し易い磁性膜を用いることが可能である。垂直磁化膜表面にC, B, N, Pなどの軽元素を拡散もしくは打ち込みすることにより、垂直磁化膜をその膜厚方向に見て表面側の一部を軟磁性膜化もしくは面内磁化膜化しても良い。

【0015】以上をまとめると、本発明は次の通りである。本発明は、非磁性基板上に下地層を介して形成した垂直磁化膜を備える垂直磁気記録媒体において、下地層は、六方稠密構造もしくは非晶質構造を持つ材料からなり基板と接する第1下地層と、六方稠密構造を持ち優先成長方位が[0001]であってその上に形成される垂直磁化膜と整合成長し得る材料からなる第2下地層とからなり、垂直磁化膜は第2下地層に接する下層垂直磁化膜と上層垂直磁化膜とを含み、下層及び上層の垂直磁化膜はCo合金多結晶膜であって、上層垂直磁化膜は下層垂直磁化膜より非磁性元素の総添加元素濃度が低く、かつ飽和磁化 ( $M_s$ ) 及び磁気異方性エネルギー ( $K_u$ ) が大きく、第2下地層から上層垂直磁化膜まで連続的に整合成長が実現されており、垂直磁化膜の総厚が5nm以上70nm以下であり、上層垂直磁化膜の表面側で測定した結晶粒の平均粒径が5nm以上15nm以下であることを特徴とする。

【0016】下層垂直磁化膜と上層垂直磁化膜の間に六方稠密構造を持つ非磁性もしくは $M_s < 50 \text{ emu/cc}$ の中間層を設け、第2下地層から上層垂直磁化膜まで連続的に整合成長させてもよい。上層垂直磁化膜の上に厚さ0.1nmから5nmの金属膜を形成してもよい。この金属膜は、Pt, Pd, Ir, Re, Ruもしくはこれらの元素を主成分とする合金、あるいはCoもしくはCo合金とPt, Pd, Ir, Re, Ruもしくはそれらの元素を主成分とする合金との積層膜、あるいは希土類元素を含む非晶質磁性材料膜とすることができる。

【0017】下層垂直磁化膜は、その結晶粒界に25at%以上の非磁性元素の偏析層を持つ多結晶膜であることが好ましい。下層垂直磁化膜の磁気異方性エネルギー  $K_u$  が $1 \times 10^{10} \text{ erg/cc}$ 以上、 $2.5 \times 10^{10} \text{ erg/cc}$ 以下、上層垂直磁化膜の磁気異方性エネルギー

7

が  $2.5 \times 10^6 \text{ erg/cc}$  以上、 $5 \times 10^6 \text{ erg/cc}$  以下であることが好ましい。第 2 下地層と下層垂直磁化膜の格子定数の差は 5% 以下であることが好ましい。下層垂直磁化膜の厚さは上層垂直磁化膜の厚さの 2 倍以上であることが好ましい。

【0018】また、本発明は、磁気記録媒体と、磁気記録媒体を駆動する磁気記録媒体駆動手段と、記録部と再生部とを備える磁気ヘッドと、磁気ヘッドを駆動する磁気ヘッド駆動手段と、磁気ヘッドの記録再生信号処理手段とを含む磁気記憶装置において、磁気記録媒体として前記した本発明による垂直磁気記録媒体を用い、磁気ヘッドの再生部として磁気抵抗効果素子もしくは巨大磁気抵抗効果素子を用い、面記録密度  $10 \text{ Gb/in}^2$  以上で磁気記録再生を行なうことを特徴とする。

【0019】さらに、本発明は、磁気記録媒体と、磁気記録媒体を駆動する磁気記録媒体駆動手段と、記録部と再生部とを備える磁気ヘッドと、磁気ヘッドを駆動する磁気ヘッド駆動手段と、磁気ヘッドの記録再生信号処理手段とを含む磁気記憶装置において、磁気記録媒体として前記した本発明による垂直磁気記録媒体を用い、磁気ヘッドの再生部として磁気トンネル効果を用いた素子を用い、面記録密度  $30 \text{ Gb/in}^2$  以上で磁気記録再生を行なうことを特徴とする。

【0020】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。図 1 は、本発明による垂直磁気記録媒体の第 1 の実施の形態を示す断面模式図である。この垂直磁気記録媒体は、非磁性基板 11 上に磁性膜の垂直配向性向上や結晶粒径制御を目的とした下地層 12、13 を介して垂直磁化膜が形成される。基板側に形成される第 1 下地層 12 は、六方稠密構造をもつ第 2 下地層 13 の成長方位が  $[0001]$  方位となるよう膜の核生成過程を制御する役割を果たす。この目的に適切な材料は、Ti、Ru あるいはこれらの元素を主成分として Cr、V、Mo、W などの添加元素を含む六方稠密構造を持つ材料、Si、Ge あるいはこれらの元素を主成分とする非晶質材料が適当である。

【0021】第 2 下地層 13 は、六方稠密構造を持つ非磁性もしくは飽和磁化  $M_s$  が  $M_s < 50 \text{ emu/cc}$  以下の弱磁性の材料であり、例えば Co に 25 at% 以上の Cr、V、Mo、W、Nb、Re、Ti、Y 等の非磁性元素を添加した材料が用いられる。この材料の磁化強度が  $50 \text{ emu/cc}$  以上となると記録再生時の分解能を下げたり、ノイズが上昇したりするため望ましくない。この第 2 下地層はその上に形成される垂直磁化膜 14 と成長整合することになり、良好な整合成長を実現するためには、両者の格子定数の差を 5% 以下とする必要がある。格子定数の差が 5% 以上になると、ミスフィット転位が導入されたり、磁性膜に歪が入り、磁気異方性を低下させることになり、望ましくない。

8

【0022】磁性膜としては、合金元素として Cr、Ta、Pt、Pd、Si、V、Nb、W、Mo、Hf、Re、Zr、B、P、Ru などから選ばれたすくなくとも 1 種の元素を含む Co 合金が用いられる。この例では、組成の異なる垂直磁化膜を上下に 2 層積層する。下層垂直磁化膜 14 は、上層垂直磁性膜 15 に比べて Co に添加する非磁性元素の総量を多くすることにより、磁気異方性エネルギー  $K_u$  を小さく調整すると同時に結晶粒界により多くの非磁性元素の析出を行なわせるものである。上層垂直磁化膜 15 は下層垂直磁化膜 14 と成長整合性を保って形成され、結晶的には第 2 下地層 13 から上層垂直磁化膜 15 表面まで連続した結晶成長が実現されることになる。

【0023】この磁性膜は多結晶膜であり、高い線記録密度特性と低いノイズ特性をもたせるために、結晶粒径平均は  $15 \text{ nm}$  以下で、しかも特に下層垂直磁化膜 14 の結晶粒界面には非磁性元素が優先的に偏析した構造が用いられる。この垂直磁化膜は膜面方向では、結晶粒界に偏析層が存在するために、磁気結合力は小さい。媒体ノイズを低減するために、既に述べたように、この垂直磁化膜の上に磁気異方性エネルギー  $K_u$  が相対的に大きい上層垂直磁化膜 15 を形成する。上層垂直磁化膜 15 の表面には保護膜 16 が形成される。

【0024】図 2 から図 4 は、本発明による垂直磁気記録媒体の他の実施の形態を示す断面模式図である。図 2 に断面構造を示した第 2 の実施の形態の垂直磁気記録媒体は、非磁性基板 21 上に第 1 下地層 22、第 2 下地層 23 からなる 2 層の下地層を形成し、その上に磁性膜を形成したものである。磁性膜は、下層垂直磁化膜 24 と上層垂直磁化膜 26 からなる 2 層の積層した垂直磁化膜の間に六方稠密構造を持つ非磁性もしくは飽和磁化  $M_s$  が  $M_s < 50 \text{ emu/cc}$  の弱磁性を持つ中間層 25 を設けたものであり、媒体のノイズ低減を促進する効果がある。

【0025】中間層 25 は、上下の垂直磁化膜 24、26 と結晶的には整合成長している。中間層の厚さは  $0.5 \text{ nm}$  以上  $5 \text{ nm}$  以下が望ましく、さらに望ましい厚さの範囲は  $1 \text{ nm}$  以上  $3 \text{ nm}$  以下である。このような構造を採用することにより、垂直磁化膜の結晶粒径や配向の高度制御が可能になり、更なる低ノイズ特性を実現することができる。上層垂直磁化膜 26 の表面には保護膜 27 を形成する。第 1 下地層 22、第 2 下地層 23、下層垂直磁化膜 24、上層垂直磁化膜 26 などの材料には、図 1 に示した第 1 の実施の形態の媒体構造と対応する部分の材料と同じ材料を用いることができる。

【0026】図 3 に示した本発明の第 3 の実施の形態の媒体構造は、第 1 図に示した第 1 の実施の形態の垂直磁気記録媒体の磁性膜の上に金属膜 36 を設けたものに相当する。すなわち、この媒体構造は、非磁性基板 31 上に第 1 下地層 31、第 2 下地層 33 からなる 2 層の下地

9

層を設け、その上に下層垂直磁化膜 34、上層垂直磁化膜 35 からなる 2 層構造の垂直磁化膜を用いる。上層垂直磁化膜 35 の上に金属膜 36 を形成し、その上に保護膜 37 を形成する。下地層や垂直磁化膜の材料には、第 1 の実施の形態で述べた材料を用いることができる。金属膜 36 としては、Pt, Pd, Ir, Re, Ru もしくはこれらの元素を主成分とする合金、あるいは Co もしくは Co 合金と前述の元素もしくはそれらの元素を主成分とする合金の積層膜、あるいは希土類元素を含む非晶質磁性材料膜を用いる。

【0027】図 4 に示した本発明の第 4 の実施の形態の媒体構造は、図 2 に示した第 2 の実施の形態の垂直磁気記録媒体の磁性膜の上に金属膜 47 を設けたものに相当する。図 4 の非磁性基板 41、第 1 下地層 42、第 2 下地層 43、下層垂直磁化膜 44、中間層 45、上層垂直磁化膜 46、保護膜 48 は、図 2 の非磁性基板 21、第 1 下地層 22、第 2 下地層 23、下層垂直磁化膜 24、中間層 25、上層垂直磁化膜 26、保護膜 27 にそれぞれ対応する。金属膜 48 としては、Pt, Pd, Ir, Re, Ru もしくはこれらの元素を主成分とする合金、  
あるいは Co もしくは Co 合金と前述の元素もしくはそれらの元素を主成分とする合金の積層膜、あるいは希土類元素を含む非晶質磁性材料膜を用いる。

【0028】図 1 から図 4 に示す媒体構造を採用することにより、垂直磁化膜の表面に存在する長周期、短周期の磁気揺らぎが減少し、かつミクロな磁化揺らぎのピッチが記録ビット長より短くなり、媒体ノイズが低減する。以下、本発明を実施例により更に詳細に説明する。

【0029】〔実施例 1〕直径 2.5 インチのガラス基板を用いて、直流マグネトロンスパッタ法によって、図 1 に示す断面構造を持つ磁気記録媒体を作製した。基板 11 上に、下地層 12、13、垂直磁化膜 14、15、保護膜 16 をこの順序で形成した。第 1 下地層には Ti-10.2 at% Cr ターゲット、第 2 下地層には Co-34 at% Cr ターゲット、下層垂直磁化膜用に Co-17 at% Cr-5 at% Ta ターゲット、上層垂直\*

10

\*磁化膜用に Co-10 at% Cr-10 at% Pt ターゲット、保護膜用にカーボンターゲットを用いた。スパッタの Ar ガス圧力を 3 mTorr、スパッターパワーを 10 W/cm<sup>2</sup>、基板温度を 250℃とした条件で CrTi 膜を 30 nm、Co-Cr 膜を 30 nm、下層垂直磁化膜を 30 nm、上層垂直磁化膜を 2 nm、カーボン膜を 10 nm の厚さ形成した。同様な条件で、上層垂直磁化膜の厚さを 5 nm、10 nm、15 nm、20 nm、30 nm、40 nm とした以外は前記と同様な垂直媒体を作製した。

【0030】比較試料として、上層垂直磁化膜を設けない垂直磁気記録媒体及び上層垂直膜の膜厚を 50 nm とした垂直磁気記録媒体を作製した。上層及び下層垂直磁化膜の磁気特性を測定した結果、下層垂直磁化膜：Ms = 385 emu/cc, Ku = 1.8 × 10<sup>6</sup> erg/cc、上層垂直磁化膜：Ms = 675 emu/cc, Ku = 4.1 × 10<sup>6</sup> erg/cc であった。第 2 下地層 13 の飽和磁化は、Ms = 12 emu/cc であった。これらの垂直磁化膜の結晶粒径は、8~14 nm であり、結晶粒間には 26~28 at% の Cr が平均厚さ 1 nm の幅で偏析していることを電子顕微鏡を用いた分析で確認した。また、第 2 下地層 13 と下層垂直磁化膜 14 の格子定数の差は 3.2% であった。

【0031】これらの磁気記録媒体の記録再生特性を、記録再生分離型の磁気ヘッドを用いて評価した。記録ヘッドのギャップ長は 0.2 mm、再生用の磁気抵抗効果型 (MR) ヘッドのシールド間隔は 0.2 mm、測定時のスペーシングは 0.06 mm とした。記録密度は低周波の再生出力の半分になる出力半減記録密度 (D<sub>50</sub>) を測定して評価し、20 kFCI の磁気記録を行なった場合の S/N は、上層垂直磁化膜のない比較試料の S/N に対する相対値で評価した。これらの結果を表 1 に示す。

【0032】

【表 1】

	比較例		本発明						
	30nm	30nm	30nm	30nm	30nm	30nm	30nm	30nm	30nm
下層垂直膜	30nm	30nm	30nm	30nm	30nm	30nm	30nm	30nm	30nm
上層垂直膜	なし	50nm	2nm	5nm	10nm	15nm	20nm	30nm	40nm
D <sub>50</sub> (KFCI)	155	186	265	250	248	240	236	225	220
S/N(相対値)	1	1.22	2.53	2.22	2.41	2.56	2.43	2.31	2.10

【0033】本実施例の磁気記録媒体は、比較例に比べて出力半減記録密度 D<sub>50</sub> が大幅に向上し、しかも媒体 S/N が向上しており、高密度磁気記録媒体として望ましいことがわかった。本実施例で作製した磁気記録媒体を用いて、再生素子として MR ヘッドを用いた 2.5 インチの磁気記録再生装置を作製した。面記録密度 10 Gb/in<sup>2</sup> の条件でエラーレート 10<sup>-9</sup> が確保でき、超高密度記録再生装置として動作することを確認した。

【0034】〔実施例 2〕直径 2.5 インチのシリコン基板を用いて、直流マグネトロンスパッタ法によって、図 2 に示す断面構造を持つ垂直磁気記録媒体を作製した。基板 21 上に、第 1 下地層 22、第 2 下地層 23、下層垂直磁化膜 24、中間層 25、上層垂直磁化膜 26、保護膜 27 をこの順序で形成した。第 1 下地層には Ge ターゲット、第 2 下地層には Co-35 at% Ru ターゲット、下層垂直磁化膜用には Co-15 at% C



11

r-6at%Pt-3at%Yターゲット、中間層用にはCo-45at%Ruターゲット、上層垂直磁化膜用にはCo-14at%Cr-8at%Ptターゲット、保護膜用にはカーボンターゲットを用いた。

【0035】Co-35at%Ruの飽和磁化は15emu/cc以下であり、弱磁性膜が得られる。スパッタのArガス圧力を3mTorr、スパッターパワーを10W/cm<sup>2</sup>、基板温度を280℃とした条件でGe膜を30nm、Co-Ru膜を15nm、下層垂直磁化膜を30nm、中間層を0.1nm、上層垂直磁化膜のCo-Cr-Pt膜を2nm、カーボン膜を10nmの厚さ形成し、図2に断面構造を示す垂直磁気記録媒体を形成した。さらに、中間層25の膜厚を1nm、2nm、3nm、5nmとした以外は同様の垂直媒体を作製した。

【0036】また、比較試料として、上層垂直磁化膜形成に用いたCo-Cr-Pt膜35nmからなる単層垂直磁気記録媒体を作製した。比較試料の下地と保護膜の形成条件は上記実施例と同様とした。上層及び下層垂直磁化膜の磁気特性を測定した結果、下層垂直磁化膜：M<sub>s</sub> = 370emu/cc, Ku = 2.0 × 10<sup>6</sup>erg \*

12

\* /cc、上層垂直磁化膜：M<sub>s</sub> = 600emu/cc, Ku = 4.3 × 10<sup>6</sup>erg/ccであった。中間層25のM<sub>s</sub> = 0emu/ccであった。上層垂直磁化膜の表面で測定した結晶粒の平均粒径は11nmであり、下層垂直磁化膜の結晶粒界には27at%のCrが平均厚さ1.2nmの幅で偏析していることを電子顕微鏡を用いた分析で確認した。また、第2下地層23と下層垂直磁化膜24の格子定数の差は3%であった。

【0037】これらの磁気記録媒体の保磁力H<sub>c</sub>と記録再生特性の評価を、それぞれ振動型磁力計(VSM)、記録再生分離型の磁気ヘッドを用いて行なった。記録ヘッドのギャップ長は0.2mm、再生用の巨大磁気抵抗効果型(GMR)ヘッドのシールド間隔は0.15mm、測定時のスペーシングは0.04mmとした。記録密度は低周波の再生出力の半分になる出力半減記録密度(D<sub>50</sub>)を測定して評価し、20kFCIの磁気記録を行なった場合のシグナルとノイズの比率S/Nは、比較試料のS/Nに対する相対値によって評価した。これらの結果を表2に示す。

【0038】

【表2】

	比較例	本発明				
下層垂直膜	なし	30nm	30nm	30nm	30nm	30nm
中間層	なし	0.1nm	1nm	2nm	3nm	5nm
上層垂直膜	35nm	2nm	2nm	2nm	2nm	2nm
H <sub>c</sub> (kOe)	2.8	2.7	2.4	2.5	2.4	2.3
D <sub>50</sub> (kFCI)	185	268	250	245	220	215
S/N(相対値)	1	2.8	2.1	2.0	1.75	1.2

【0039】本実施例の垂直磁気記録媒体は、比較例に比べてD<sub>50</sub>, S/Nが大幅に改善されており、高密度磁気記録媒体として望ましいことがわかった。本実施例で作製した垂直磁気記録媒体を用いて、再生素子としてGMRヘッドを用いた2.5インチの磁気記録再生装置を作製した。面記録密度20Gb/in<sup>2</sup>の条件でエラーレート10<sup>-9</sup>が確保でき、超高密度記録再生装置として動作することを確認した。

【0040】[実施例3] 直径2.5インチのガラス基板を用いて、直流マグネトロンスパッタ法によって、図3に示す断面構造を持つ垂直磁気記録媒体を作製した。基板31上に、第1下地層32、第2下地層33、下層垂直磁化膜34、上層垂直磁化膜35、金属膜36、保護膜37をこの順序で形成した。第1下地層用にはTiターゲット、第2下地層用にはCo-30at%Cr-10at%Ruターゲット、下層垂直磁化膜用にはCo-17at%Cr-1at%Y-3at%Taターゲット、上層垂直磁化膜用にはCo-18at%Cr-10at%Ptターゲット、金属膜用にはPtターゲット、保護膜用にはカーボンターゲットを用いた。スパッタのArガス圧力を3mTorr、スパッターパワーを10

W/cm<sup>2</sup>、基板温度を250℃とした条件でTi膜を30nm、Co-Cr-Ru膜を20nm、Co-Cr-Y-Ta膜を20nm、Co-Cr-Pt膜を1nm、Pt膜を0.5nm、カーボン膜を7nmの厚さ形成した。

【0041】金属膜36としてPt膜の代わりに、Pd膜(1nm)、Ir膜(1.5nm)、Re膜(0.1nm)、Ru膜(1.2nm)、及びCo/Pt多層膜(3nm)を形成した以外は前記と同様の垂直磁気記録媒体を作製した。ここでCo/Pt多層膜は、CoターゲットとPtターゲットを交互に用いてそれぞれ0.5nmの厚さずつ6サイクル形成し、合計3nm厚とした。比較試料として、上層垂直磁化膜と金属膜を省いた試料、及び金属膜を省いた以外は実施例と同様の垂直磁気記録媒体を作製した。

【0042】上層及び下層垂直磁化膜の磁気特性を測定した結果、下層垂直磁化膜：M<sub>s</sub> = 340emu/cc, Ku = 1.5 × 10<sup>6</sup>erg/cc、上層垂直磁化膜：M<sub>s</sub> = 420emu/cc, Ku = 3 × 10<sup>6</sup>erg/ccであった。上層垂直磁化膜の表面で測定した結晶粒の平均粒径は12nmであり、下層垂直磁化膜の結



晶粒界には26~30at%のCrが平均厚さ1nmの幅で偏析していることを電子顕微鏡を用いた分析で確認した。また、第2下地層33と下層垂直磁化膜34の格子定数の差は4%であった。これらの磁気記録媒体の記\*

\*録再生特性を実施例2の場合と同様の方法で評価した。結果を表3に示す。

【0043】

【表3】

	比較例		本発明					
下層垂直膜	20nm	20nm	20nm	20nm	20nm	20nm	20nm	20nm
上層垂直膜	なし	1nm	1nm	1nm	1nm	1nm	1nm	1nm
金属膜	なし	なし	Pt 0.5nm	Pd 1nm	Ir 1.5nm	Re 0.1nm	Ru 1.2nm	Co/Pt 3nm
Hc(kOe)	2.3	2.5	2.5	2.5	2.4	2.5	2.4	2.9
D <sub>50</sub> (kFCD)	190	220	235	240	243	251	240	265
S/N(相対値)	1	1.2	2.1	2.2	2.0	2.3	2.4	2.2
エラーレート	1x10 <sup>-6</sup>	3x10 <sup>-6</sup>	1x10 <sup>-6</sup>	3x10 <sup>-10</sup>	5x10 <sup>-10</sup>	1x10 <sup>-9</sup>	8x10 <sup>-10</sup>	6x10 <sup>-10</sup>

【0044】本実施例の磁気記録媒体は、比較例に比べてD<sub>50</sub>、S/Nが大幅に改善されており、高密度磁気記録媒体としてさらに望ましいことがわかった。本実施例で作製した磁気記録媒体を用いて、再生素子として磁気トンネル現象を応用した高感度再生ヘッドを用いた2.5インチの磁気記録再生装置を作製した。面記録密度30Gb/in<sup>2</sup>の条件で、表3に示すようにエラーレート10<sup>-9</sup>が確保でき、超高密度記録再生装置として動作することを確認した。

【0045】【実施例4】実施例2で試作した垂直磁気記録媒体の上に、厚さ5nmの(Co-10at%Cr-3at%Ta)/ (Pt-45at%Re) 多層膜を※

※設けた以外は同様にして、図4に示す断面構造を持つ垂直磁気記録媒体を作製した。ここで(Co-10at%Cr-3at%Ta)/(Pt-45at%Re)多層膜は、Co-Cr-Taターゲット、及びPt-Reターゲットを交互に用いてそれぞれ0.25nmの厚さずつ10サイクル形成し、合計5nm厚の金属膜を作製した。比較例として、金属膜及び下層垂直膜、中間膜を設けない垂直磁気記録媒体も作製した。実施例2と同様な記録再生条件で特性比較を行なった結果を、表4に示す。

【0046】

【表4】

	比較例	本発明				
下層磁性膜	なし	30nm	30nm	30nm	30nm	30nm
中間層	なし	0.1nm	1nm	2nm	3nm	5nm
上層磁性膜	35nm	2nm	2nm	2nm	2nm	2nm
金属膜	なし	5nm	5nm	5nm	5nm	5nm
Hc(kOe)	2.8	3.1	2.9	2.7	2.4	2.3
D <sub>50</sub> (kFCD)	185	270	263	230	220	228
S/N(相対値)	1	3.2	2.6	2.4	2.5	1.9
エラーレート	8x10 <sup>-6</sup>	1x10 <sup>-9</sup>	1x10 <sup>-9</sup>	9x10 <sup>-10</sup>	8x10 <sup>-10</sup>	1x10 <sup>-9</sup>

【0047】本発明の垂直磁気記録媒体の方が比較例に比べ、D<sub>50</sub>、S/Nが改善されており、さらに高密度磁気記録媒体として望ましいことが分かる。面記録密度20Gb/in<sup>2</sup>の条件で、表4に示すようにエラーレート10<sup>-9</sup>が確保でき、超高密度記録再生装置として動作することが分かった。

【0048】【実施例5】実施例3で試作した垂直磁気記録媒体と巨大磁気抵抗効果(GMR)を用いた高感度再生素子を持つ録再生ヘッドを用いて磁気記憶装置を作製した。この磁気記憶装置は、図5(a)に概略平面図を、図5(b)にそのAA'断面図を示すように、磁気記録媒体駆動部52により回転駆動される磁気記録媒体51、磁気ヘッド駆動部54により保持されて磁気記

録媒体51に対して記録および再生を行う磁気ヘッド53、磁気ヘッド53の記録信号および再生信号を処理する記録再生信号処理系55を備える周知の構成の装置である。記録ヘッドのトラック幅0.4mm、再生用のGMRヘッド素子のトラック幅0.32mm、ヘッドと媒体のスペーシング15nmとした。信号処理としてPR5方式を採用し、30Gb/in<sup>2</sup>の面記録密度の条件で装置を動作させたところ、いずれの垂直媒体においても10<sup>-9</sup>以下の誤り率が得られた。

【0049】

【発明の効果】本発明によれば、垂直磁気記録媒体のノイズを低減することができ、この結果高いS/N比が得られるので、磁気ディスク装置の高密度化が可能とな

15

る、特に  $10 \text{ Gb/in}^2$  以上の高密度磁気記録が可能となり、装置の小型化や大容量化が容易になる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明による磁気記録媒体の一例の断面図。

【図 2】本発明による磁気記録媒体の他の例の断面図。

【図 3】本発明による磁気記録媒体の他の例の断面図。

【図 4】本発明による磁気記録媒体の他の例の断面図。

【図 5】磁気記憶装置の構成図。

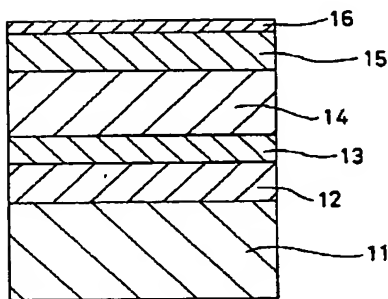
【符号の説明】

11…基板、12…第1下地層、13…第2下地層、14…下層垂直磁化膜、15…上層垂直磁化膜、16…保\*

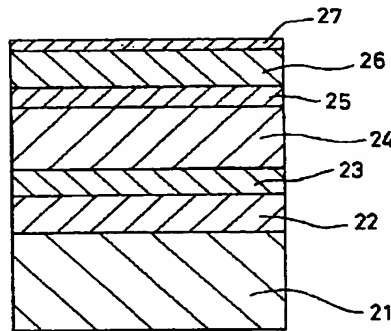
16

\*護膜、21…基板、22…第1下地層、23…第2下地層、24…下層垂直磁化膜、25…中間層、26…上層垂直磁化膜、27…保護膜、31…基板、32…第1下地層、33…第2下地層、34…下層垂直磁化膜、35…上層垂直磁化膜、36…金属膜、37…保護膜、41…基板、42…第1下地層、43…第2下地層、44…下層垂直磁化膜、45…中間層、46…上層垂直磁化膜、47…金属膜、48…保護膜、51…磁気記録媒体、52…磁気記録媒体駆動部、53…磁気ヘッド、54…磁気ヘッド駆動部、55…信号処理部

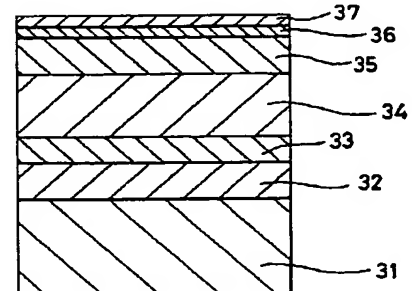
【図 1】



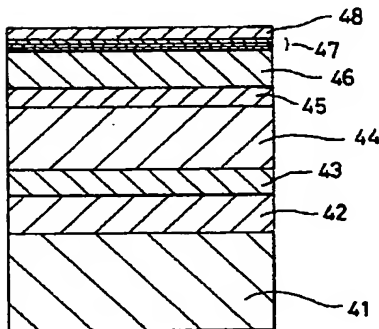
【図 2】



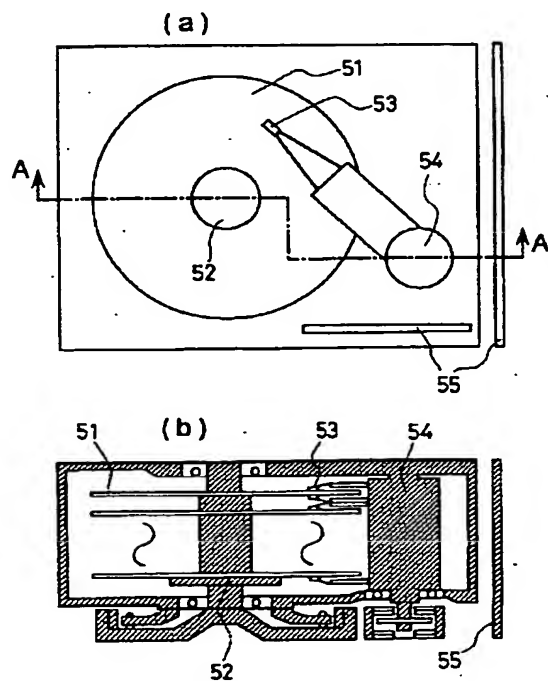
【図 3】



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

(72) 発明者 吉田 和悦

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 本多 幸雄

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内